ВІДГУК
офіційного опонента
на дисертаційну роботу Гули Василини Олегівни
на тему «Несуча здатність, деформативність та довговічність скляних плит які працюють на згин»,
представленої на здобуття наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія, галузі знань 19 – Архітектура та будівництво

Актуальність теми дисертації. Такі основні оптичні властивості скла, як прозорість та легкість у сприйнятті відповідають сучасним поглядам в архітектурі, на відміну від традиційних матеріалів, що використовуються у будівництві. Серед інших переваг скляних конструкцій, можна відмітити також і екологічність та добрі звукоізоляційні властивості. Разом з тим, на сьогодні, скло в основному використовується в промисловості і побуті лише для засклення будівель чи споруд, а також транспортних засобів. Звичне використання скла не розкриває в повній мірі його потенціалу, а сучасна тенденція використання скла в елементах несучих конструкцій змушує проводити все більше досліджень його фізико-механічних властивостей. Щодо основних недоліків звичайного скла, так це його крихкість, що призводить до крихкого, миттєвого руйнування. Подібно до бетону, монолітне скло добре сприймає стикаючі навантаження, тобто має набагато більшу міцність на стиск ніж на розтяг, тому може ефективно використовуватись у центрально стиснутих елементах, таких як колони. Для плитних конструкцій одним із шляхів вирішення проблеми крихкого руйнування є використання багатошарового, триплексованого скла.

Історія використання багатошарового скла розпочинається із застосування його в автомобільній галузі як захисного скла. Із розвитком інженерної думки, такий вид скла все частіше використовується у сучасному проектуванні мостів, будівель і споруд, причому не тільки в елементах фасадного скління, але й у несучих конструкціях через його високі фізико-механічні властивості.

В Україні сьогодні комплексні наукові дослідження багатошарових скляних конструкцій практично не ведуться. Тому, дослідження скляних багатошарових плит на згин допоможе вирішити актуальну проблему з впровадження нових багатофункціональних конструкцій в будівельній галузі при спорудженні будівель та споруд.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана у Національному університеті «Львівська політехніка» та відповідає науковому напряму кафедри будівельних конструкцій та мостів «Теоретичні та експериментальні дослідження звичайних та попередньо напружених залізобетонних, металевих, дерев'яних та інших конструкцій будівель, споруд, мостів і фундаментів та методів їх підсилення з врахуванням різних видів армування, бетонування, способів та інтенсивності навантаження, дії агресивного середовища, підвищених

температур», який був затверджений на Вченій раді Інституту будівництва та інженерних систем НУ«ЛП» 8 жовтня 2019 року, протокол № 3 та уточнений на Вченій раді Інституту будівництва та інженерних систем 2 лютого 2023 року, протокол № 6.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає в отриманні нових експериментальних даних з випробовування несучої здатності та деформативності одно- та багатошарових скляних плит, спертих на чотири кути, що працюють на згин; запропонуванні методик визначення фізико-механічних характеристик скла, з використанням ймовірнісно-статистичного методу оцінки даних; розробці нової методики дослідження скляних балочних плит на довговічність з аналізом отриманих результатів; розширенні можливості використання методу кореляції цифрових зображень (КЦЗ) для вимірювання деформацій поверхні скляних одно- та багатошарових плит та фрактографічного аналізу з використанням цифрової оптичної мікроскопії для дослідження тріщиностійкості та розгалуження тріщин у склі; удосконаленні методики розрахунку несучої здатності згинаних скляних плит з використанням теорії пружності пластин, методу скінчених елементів та лінійно-пружної механіки руйнування.

Практичне значення дисертаційної роботи полягає в розробці методик дослідження несучої здатності, деформативності та довговічності скляних зразків та плит. Отримані результати досліджень фізико-механічних характеристик скла, розроблені рекомендації з проектування несучої здатності та довговічності скляних плит можуть бути застосовані в будівництві та при проектуванні скляних перекриттів і покриттів, а також у програмах навчальних курсів для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія». За результатами дисертаційної роботи отримано два патенти України на корисну модель.

Мета дисертаційної роботи – встановити несучу здатність нормальних перерізів та деформативність скляних плит спертих на чотири кути, що працюють на згин під дією короткочасного статичного навантаження, прикладеного через штамп посередині дослідних зразків, і довговічність скляних плит під дією довготривалого статичного навантаження та розробити рекомендації з їх проектування.

Задачами дисертації є експериментальні дослідження скляних одно- та багатошарових плит, спертих на чотири кути, що працюють на згин під дією короткочасного статичного навантаження та обґрунтування доцільності використання таких плит для конструктивних цілей у будівництві; удосконалення методу кореляції цифрових зображень (КЦЗ) для вимірювання деформацій поверхні скляних багатошарових плит; розробка методик досліджень для визначення фізико-механічних характеристик скла та критеріїв тріщиностійкості та розгалуження тріщин у склі; на основі аналізу експериментальних досліджень розроблення методики

прогнозування довговічності скляних плит та рекомендацій з проектування скляних одно- та багатошарових плит.

Об'єктом дослідження виступає міцність нормальних перерізів, деформативність та довговічність скляних одно- та багатошарових плит, що працюють на згин, а ***предметом дослідження*** – скляні плити з різною кількістю шарів скла.

Достовірність та обґрунтованість представлених результатів, запропонованих основних висновків забезпечена використанням методів математичного планування, методу прямого експерименту, методу кореляції цифрових зображень (КЦЗ), методу прямого заміру переміщень прогиномірами та індикаторами для визначення деформацій та прогинів, статистичного та статистично-ймовірнісного аналізу даних експериментальних досліджень, фрактографічного аналізу дослідних зразків та порівняльного аналізу збіжності теоретичних даних і даних, отриманих експериментальним шляхом.

Повнота викладу в опублікованих працях. Основні результати дисертаційної роботи були оприлюднені та обговорені на: 9-му міжнародному молодіжному науковому форумі «Litteris et Artibus» (м. Львів, 21-23 листопада 2019 р., НУ«ЛП»); VII міжнародній науково-технічній конференції «Нові технології в будівництві» (м. Київ, 19 листопада 2020 р., КНУБА); міжнародній науково-технічній конференції «Інтелектуальні конструкції та інноваційні будівельні матеріали» (м. Херсон, 15 квітня 2021 р., ХДАЕУ); XXII міжнародній науково-практичній конференції «Interaction of society and science: prospects and problems» (м. Лондон, Великобританія, 20-23 квітня 2021 р.); VII міжнародній науково-практичній конференції «Science, innovations and education: problems and prospects» (м. Токіо, Японія, 9-11 лютого 2022 р.); 11-тій міжнародній науковій сесії з прикладної та теоретичної механіки (м. Бидгощ, Польща, 18 листопада 2022 р.), наукових семінарах Національного університету «Львівська політехніка» кафедри «Будівельні конструкції та мости» (у 2019-2023 рр.).

Основний зміст дисертаційної роботи викладений у 5 наукових публікаціях, серед них: 3 статті у наукових фахових виданнях України та 2 статті у наукових періодичних виданнях інших держав, що включені до міжнародної наукометричної бази даних Scopus; опубліковано 6 тез доповідей на міжнародних конференціях; отримано 2 патенти України на корисну модель.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, їх достовірність і новизна. Відсутність порушень академічної доброчесності. Дисертаційна робота присвячена вивченню несучої здатності, деформативності та довговічності скляних одно- та багатошарових плит, спертих на чотири кути, що працюють на згин під дією короткочасного статичного навантаження, прикладеного через штамп посередині дослідних зразків.

Наведені в дисертаційній роботі теоретичні обґрунтування та експериментальні дослідження виконані коректно на високому науковому рівні. Всі наукові положення обґрунтовані і графічно проілюстровані. Вірогідність експериментальних результатів підтверджується порівнянням отриманих експериментальних та теоретичних результатів досліджень. Рівень новизни результатів дисертаційної роботи полягає у подальшому розвитку підходу до оцінки несучої здатності скляних одно- та багатошарових плит, спертих на чотири кути, що працюють на згин під дією короткочасного статичного навантаження.

Запозичення, що виявлені у наданій на опонування роботі, оформлені у відповідному порядку, а саме, містять коректні посилання на дослідження інших авторів і не мають ознак плагіату, що не порушує Закон України «Про авторське право і суміжні права».

Всі основні результати дисертаційної роботи авторкою отримані самостійно. Участь авторки у спільних публікаціях відображена в переліку опублікованих праць. Зміст дисертаційної роботи достатньо повно відображений в анотації.

Дисертаційна робота складається із анотації, вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та чотирьох додатків. Дисертаційна робота викладена на 174 сторінках.

Ступінь обґрунтованості наукових положень і висновків доцільно розглянути за кожним розділом дисертації окремо.

У вступі обґрунтовано вибір теми дослідження, сформульовану мету, задачі та методи дослідження, представлено об'єкт та предмет дослідження, вказано наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, зазначений особистий внесок здобувача та висвітлена апробація результатів досліджень.

В першому розділі дисертації детально подано огляд наукових та нормативних літературних джерел за тематикою досліджень, висвітлено існуючий стан досліджень та проектування скляних плит, проаналізовано існуючі методики розрахунку, зокрема довговічності таких конструктивних елементів. Подані відомості про історичний розвиток технології виробництва листового скла, його видів та фізико-механічні властивості. Приділена окрема увага на технології виготовлення флоат-скла та багатошаровому склу. Наведено низку прикладів використання багатошарових скляних плит у різноманітних конструктивних елементах будівель та споруд. Розділ завершується висновками.

У другому розділі висвітлено обсяг та методики експериментальних досліджень. Розділ вміщує опис зразків скляних одно- та багатошарових плит для дослідження на згин, зразків для дослідження фізико-механічних характеристик скла на розтяг при згині та зразків для дослідження довговічності скляних балочних плит під дією статичного навантаження та описано методики досліджень, серед яких потрібно відмітити метод

кореляції цифрових зображень (КЦЗ) який був удосконалений в процесі проведення експериментальних досліджень і застосовувався для вимірювання деформацій поверхні скляних одно- та багатошарових плит. Детально висвітлено процес проведення експериментальних досліджень: подана схема випробувань та схема розміщення вимірювальних приладів, описано конструкцію стенду для випробування дослідних зразків скляних плит на згин. Детально висвітлено методику дослідження критеріїв тріщиностійкості та розгалуження тріщин у склі на основі фрактографічного аналізу за допомогою цифрової оптичної мікроскопії на зразках після дослідження фізико-механічних характеристик скла. Для аналізу отриманих експериментальних даних міцності та модуля пружності скла, а також критеріїв тріщиностійкості та розгалуження тріщин у склі був прийнятий ймовірнісно-статистичний метод оцінки даних на основі закону двопараметричного розподілу Вейбулла. Розділ завершується висновками до розділу.

Третій розділ дисертаційної роботи вміщує детальний аналіз експериментальних досліджень несучої здатності, деформативності та довговічності згинаних скляних багатошарових плит. В розділі описано запропоновані оптимальні параметри для методу КЦЗ для точних вимірювань деформацій на поверхні скляних плит та перераховано визначені фізико-механічні характеристики скла, зокрема для аналізу параметрів міцності було використано закон двопараметричного розподілу Вейбулла. Також описані критерії тріщиностійкості та розгалуження тріщин у склі на основі фрактографічного аналізу з використанням ймовірнісно-статистичного методу оцінки даних та використання закону двопараметричного розподілу Вейбулла. Розділ добре проілюстрований, результати досліджень представлені у вигляді значної кількості фотографій, таблиць та графіків. Розділ завершується висновками до розділу.

У четвертому розділі, за пропозицією авторки, представлено три методики розрахунку скляних багатошарових плит: аналітична методика розрахунку скляних плит на основі концепції ефективної товщини та теорії пружності пластин (І-ша методика); чисельно-аналітичний розрахунок на основі методу скінчених елементів в ПК Dlubal RFEM (ІІ-га методика); розрахунок тріщиностійкості та довговічності скла на основі лінійно-пружної механіки руйнування (ІІІ-тя методика). Після опису кожної методики проведено аналіз результатів розрахунку. У цьому ж розділі приведені рекомендації з проектування скляних багатошарових плит та подано опис впровадження результатів дисертаційного дослідження на реальних будівельних об'єктах. В кінці розділу подані висновки до розділу.

Як завершення, в дисертаційній роботі, сформульовано ***загальні висновки***, які відображають найважливіші з результатів, отриманих внаслідок проведених експериментально-теоретичних досліджень та

контрольних розрахунків, є достатньо обґрунтовані і випливають з тексту, що їм передує.

Слід відмітити, що дисертаційна робота добре проілюстрована, написана технічно грамотно, має цікавий і досить місткий експериментально-теоретичний матеріал. Дисертаційна робота викладена авторкою державною мовою.

Список використаних джерел викладено на 12 сторінках, містить 126 найменувань.

В чотирьох додатках представлені: акти про впровадження результатів дисертаційних досліджень; протоколи дослідження деформацій скляних плит з використанням методу кореляції цифрових зображень; публікації здобувача та апробація результатів за темою дисертаційного дослідження; рекомендації щодо застосування методики 2D КЦЗ на поверхні скляних плит із використанням цифрового без дзеркального фотоапарату SONY a6000.

Разом з тим, щодо дисертаційної роботи є такі зауваження:

1. На основі яких міркувань схемою спирання скляних плит прийнята схема спирання на 4 кути, а не, наприклад, на 4 сторони?
2. Як дослідні зразки прийняті скляні плити одно-, дво- та тришаровими. Чому експериментальні дослідження обмежились лише трьома шарами?
3. Для дослідних зразків прийнято листове флоат-скло марки М-4, згідно з ДСТУ Б В.2.7-122:2009. Чому вибрана саме така марка скла?
4. Відповідно до таблиць 2.2, 2.3, 2.4 товщина скла для виготовлення дослідних зразків прийнята 10 мм. Які чинники були визначальними для вибору саме такої товщини скла дослідних зразків?
5. Для виготовлення багатошарових плит в рекомендаціях щодо проектування (стор. 130) запропоновано використовувати один шар плівки EVASAFE. На основі яких міркувань запропоновано використовувати в прошарках між склом лише одинарну плівку, а не подвійну чи інша кількість шарів?
6. Для проведення експериментальних досліджень було використано квадратний штамп. Чому саме така форма та розмір штампа була використана? Чи для іншої форми штампа також можна застосовувати запропоновану методику розрахунку?
7. З тексту дисертації не зрозуміло як закріплювались вимірювальні прилади на поверхні дослідних зразків скляних плит.
8. Так як дослідні зразки багатошарові, то виникає небезпека зсуву між шарами. Чи в процесі експерименту відслідковувалось, якщо так, то яким чином, фактичне значення зсуву на дослідних зразках плит.
9. Важливим для достовірної оцінки деформацій методом кореляції цифрових зображень (КЦЗ) є отримання якісної однорідної спекл-поверхні. Яким чином створювалась така поверхня на дослідних зразках?

10. Для отримання правдивих даних щодо визначення деформацій дослідних зразків методом КЦЗ, як сказано в дисертації на стор. 70, 97, 173, фотоапарат необхідно розміщувати перпендикулярно до поверхні, яку досліджуємо. Як забезпечувалась перпендикулярність розміщення фотоапарату до поверхні?

11. Чи проводився аналіз таких результатів експериментальних досліджень:

- на відміну від інших дослідних зразків серії І у зразка ПС-1.12 початок руйнування (точка початку утворення тріщини) знаходилася по середині зразка (стор. 77, рис. 3.1);
- які причини викликали одночасну руйнацію усіх шарів (нижнього, середнього, верхнього) зразка ПС-5.1 на відміну від зразка ПС-5.2, де руйнування середнього та верхнього шарів відбулось з деяким запізненням, хоча плити були аналогічними (стор. 58, 90, 91).

Вказані вище зауваження не знижують як теоретичного, так і практичного значення дисертаційної роботи, не мають характеру принципового заперечення, а спрямовані лише на покращення змісту формулювань та сприйняття тексту і можуть бути враховані при проведенні подальших експериментально-теоретичних досліджень за даною тематикою.

Висновок щодо відповідності дисертаційної роботи вимогам МОН України. Дисертація Гули Василини Олегівни є цілісною, завершеною науковою працею, в якій вирішено науково-прикладне завдання дослідження несучої здатності, деформативності та довговічності скляних плит які працюють на згин. Дослідження проведено на високому науковому рівні, дисертацію та анотацію оформлено згідно з існуючими вимогами «Порядку присудження наукових ступенів».

Оцінюючи роботу в цілому, вважаю, що за актуальністю і новизною, обсягом проведених досліджень та їх науковим рівнем, теоретичною і прикладною значущістю отриманих результатів, повнотою їх опублікування у фахових виданнях дисертація «Несуча здатність, деформативність та довговічність скляних плит які працюють на згин» відповідає всім вимогам до кандидатських дисертацій, а її авторка, ***Гула Василина Олегівна, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія.***

Офіційний опонент, кандидат технічних наук,
доцент, завідувач кафедри технології та
організації будівництва Львівського
національного університету природокористування Ю.Є. Фамуляк

Підпис к.т.н., доцента Фамуляка Ю.Є. засвідчую:

Головний учений секретар ЛНУП, к.е.н. Н.Є. Стойко